

Sección 1

Introducción

Capítulo 2

Estimación de Costos: Conceptos y Metodología

Daniel Mussatti

Innovative Strategies and Economics Group,
Grupo de Estrategias Inovadoras y Economía,
Office of Air Quality Planning and Standards, OAQPS,
Oficina de Normas y Planeación de la Calidad del Aire
U.S. Environmental Protection Agency, USEPA
Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU.
Research Triangle Park, NC 27711

William M. Vatavuk, retirado

Innovative Strategies and Economics Group, OAQPS,
U.S. Environmental Protection Agency
Research Triangle Park, NC 27711

Septiembre 2000

Contenido

2.1	Introducción	2-3
2.2	Tipos de Estimaciones de Costos	2-3
2.3	Definiciones de Categorías de Costos	2-5
2.3.1	Elementos de Inversión de Capital Total	2-5
2.3.2	Elementos del Costo Total Anual	2-7
2.4	Conceptos Financieros	2-9
2.4.1	El Valor del Dinero con el Tiempo	2-10
2.4.2	Tasas de Interés, Precios e Inflación	2-11
2.4.3	Flujo de Efectivo	2-13
2.4.4	Métodos de Análisis Financieros	2-13
2.4.4.1	Net present value (NPV) (Valor Actual Neto)	2-14
2.4.4.2	Flujo de Efectivo Anual Uniforme Equivalente y Anualización	2-17
2.4.4.3	Reembolso (tiempo de recuperacion del costas inicial)	2-18
2.4.4.4	Otras Herramientas de Análisis Financiero	2-19
2.5	Procedimiento de Estimación	2-19
2.5.1	Parámetros del Establecimiento y Opciones de las Regulaciones	2-19
2.5.2	Diseño del Sistema de Control	2-21
2.5.3	Dimensionamiento del Sistema de Control	2-21
2.5.4	Estimación de la Inversión de Capital Total	2-22
2.5.4.1	Consideraciones Generales	2-22
2.5.4.2	Consideraciones Acerca de los Costos de Reconversión	2-23
2.5.5	Estimación de los Costos Anuales	2-25
2.5.5.1	Materia prima	2-25
2.5.5.2	Mano de Obra de Operación	2-26
2.5.5.3	Mantenimiento	2-26
2.5.5.4	Servicios	2-27
2.5.5.5	Tratamiento y Disposición de Residuos	2-27
2.5.5.6	Partes de Repuesto	2-28
2.5.5.7	Otros Costos	2-29
2.5.5.8	Prediales, Seguros y Cargos de Administración	2-29
2.5.5.9	Recuperación de Capital	2-30

2.1 Introducción

Esta subsección presenta una metodología que permitirá al usuario, conociéndose la fuente a controlar, producir estimaciones de costo a nivel estudio, para sistemas de control a nivel fuente. La metodología, la cual es aplicable a cada uno de los sistemas de control incluidos en el Manual, es lo suficientemente general para ser utilizada por igual para otros sistemas “añadidos”. Más aún, la metodología puede también ser aplicable a estimaciones de costos de controles de emisiones fugitivas y de otros sistemas de abatimiento fuera de la chimenea.

Antes de presentar esta metodología en detalle, debemos primero discutir los varios tipos de estimaciones de costos y entonces definir las categorías de costos y los conceptos de ingeniería económica empleados al hacer las estimaciones.

2.2 Tipos de Estimaciones de Costos

Tal como se hizo notar antes, los costos y la metodología de estimaciones en este Manual están dirigidos hacia la estimación “de estudio”, de $\pm 30\%$ de exactitud. De acuerdo con el *Perry's Chemical Engineer's Handbook* [6] (manual de ingeniería química de Perry [6]), una estimación de estudio se “... utiliza para estimar la factibilidad económica de un proyecto, antes de invertir suficientes fondos para pruebas piloto, estudios de mercado, levantamiento de planos topográficos y adquisiciones....[y] puede ser preparado con un mínimo de datos y costos relativamente bajos.....”[6] Específicamente, para realizar una estimación de estudio, debe conocerse lo siguiente:

- Localización de la fuente dentro de la planta;
- Un bosquejo del diagrama de flujo del proceso (v.g., la localización relativa de los equipos en el sistema);
- Especificaciones preliminares de materiales para, y tamaño de, los componentes del equipo del sistema;
- Tamaño aproximado y tipos de construcción de cualquier edificio requerido para albergar el sistema de control;
- Estimación burda de las necesidades de servicios (v.g., electricidad);
- Diagrama de flujo y especificaciones preliminares de los conductos y tubería;
- Tamaño aproximado de los motores requeridos.[6]

Adicionalmente, se necesita una estimación de las horas de trabajo de ingeniería y bosquejo, ya que la exactitud de una estimación depende grandemente de la cantidad de trabajo de ingeniería que se invierta en el proyecto.

Perry incluye otros cuatro tipos de estimaciones, tres de los cuales son más exactos que la estimación de estudio. Son los siguientes: [6]

- Orden-de-Magnitud. Esta estimación proporciona “un procedimiento de regla de dedo aplicado solamente a tipos repetitivos de instalaciones de planta para los cuales se cuenta con buen historial de costos”. Sus márgenes de error son mayores que $\pm 30\%$. (Sin embargo, de acuerdo con Perry, “..no se le pueden aplicar con confianza límites de exactitud....”) El único dato que se requiere para realizar este nivel de estimación es la capacidad del sistema de control (medida en ocasiones por la máxima velocidad de flujo volumétrico de los gases que pasan por el sistema). Las llamadas estimaciones de “factores de seis-décimas” (no confundir con estimaciones en base a factores), son ejemplos de este tipo.
- Plan o Autorización de Presupuesto o Preliminar. Esta estimación, nominalmente con exactitud de $\pm 20\%$, requiere un conocimiento más detallado que las estimaciones de estudio en relación al sitio, al diagrama de flujo, al equipo, a los edificios, etc. Adicionalmente, se necesitan estimaciones aproximadas de la instrumentación y de los aislantes.
- Control del Proyecto o Definitiva. Exacta dentro de $\pm 10\%$, esta estimación requiere más información que las estimaciones preliminares, especialmente en lo concerniente al sitio, al equipo y a las especificaciones eléctricas.
- En Firme o De contratista o Detallada. Este es el más exacto ($\pm 5\%$) de los tipos de estimaciones, requiriendo planos, especificaciones y prospecciones de sitio completos. Más aún, “[los] plazos rara vez permiten la preparación de tal tipo de estimaciones antes de aprobar continuar el proyecto...”[6]

Para propósitos de desarrollo de regulaciones, se ha encontrado que las estimaciones de estudio son aceptables, ya que representan un término medio entre las estimaciones de órdenes de magnitud, menos exactas, y los otros tipos más exactos de estimaciones. Los primeros son muy imprecisos por lo que no son de mucho valor, mientras que los últimos no solo son muy caros de hacerse, sino que requieren un conocimiento detallado y tan específico del proceso, el cual no están disponible a la mano para la mayoría de los usuarios del Manual.

2.3 Definiciones de Categorías de Costos

Los nombres dados a ciertas categorías de costos y su contenido varían considerablemente a través de la literatura. Algunos términos como “costo de capital”, pueden tener significados totalmente diferentes, dando lugar a confusiones aún entre los mismos estimadores de costos. Para evitar esta confusión y al mismo tiempo proporcionar uniformidad en el Manual, en este capítulo se definen los términos básicos y serán utilizados en todo el documento. La terminología utilizada se adaptó de la *American Association of Cost Engineers* (Asociación Americana de Ingenieros de Costos).[7] Aún cuando ha sido desarrollada para uso general, es rápidamente adaptable al calcular el costo de sistemas de control de los contaminantes del aire.

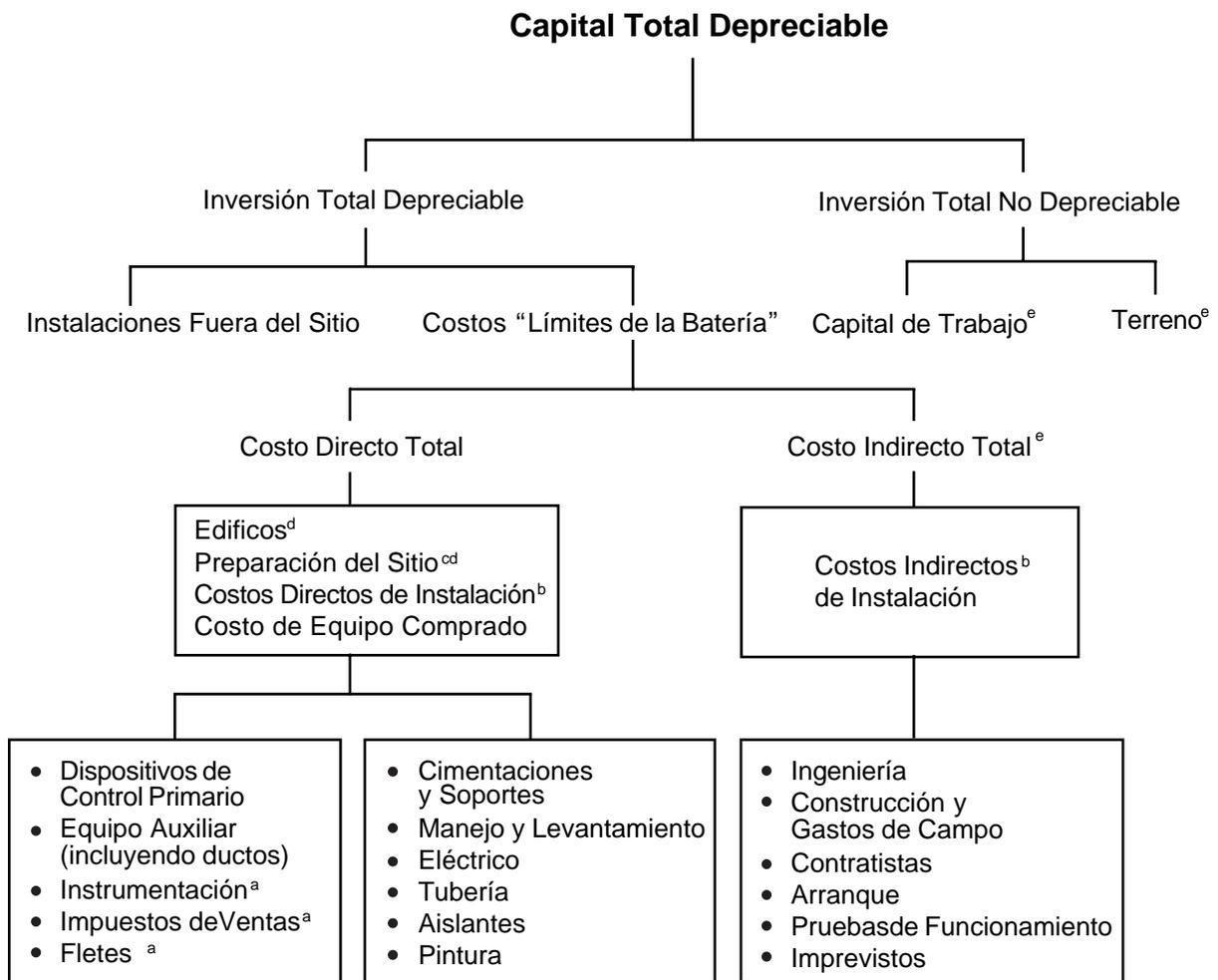
Primero, se estiman dos clases generales de costos, inversión de capital total (ICT) y costo total anual (CTA). Estas se discuten a continuación.

2.3.1 Elementos de Inversión de Capital Total

La inversión de capital total incluye todos los costos que se requieren para la compra del equipo necesario para el equipo de control (denominado costos de equipo comprado), los costos de mano de obra (no incluye impuestos sobre la renta), y los materiales para la instalación de ese equipo (denominado costos directos de instalación), costos para la preparación del sitio y edificios y otros ciertos costos que se denominan costos indirectos de instalación. La ICT también incluye los costos del terreno, capital de trabajo e instalaciones fuera del sitio.

Los costos directos de instalación incluyen los costos de la cimentación, estructuras, levantamiento y manejo del equipo, trabajo eléctrico, tuberías, aislantes y pintura. Los costos indirectos de instalación, incluyen costos tales como los de ingeniería; construcción y gastos de campo (v.g., costos de las construcciones para el personal de supervisión, oficinas del personal, alquiler de oficinas temporales, etc.); honorarios de los contratistas (de las firmas de ingeniería y de construcción involucradas en el proyecto); costos de las pruebas de funcionamiento y arranque (para el arranque del sistema de control y verificar que cumpla con la garantía de funcionamiento); e imprevistos. La de imprevistos es una categoría en la que caen todos los costos no previstos que pudieran surgir, incluyendo (pero no limitado a) “...posibles re-diseño y modificaciones de equipo, aumentos en los costos del equipo por escalamiento, incrementos en los costos de mano de obra de campo y retrasos que pueda haber durante el arranque...” [7]

Estos elementos de inversión de capital total se muestran en la Figura 2.1. Obsérvese que la suma de los costos del equipo comprado, los costos directos e indirectos de instalación, los de preparación del sitio y los costos de los edificios, comprenden los límites de la batería de la estimación. Por definición, esta es la estimación total “...para un trabajo específico, sin considerar las instalaciones de apoyo que se requieran y que se suponen que ya se tienen...” [7] en la planta.



- a Típicamente una fracción específica de la suma los costos de los dispositivos de control primario y del equipo auxiliar.
- b Típicamente una fracción específica del costo del equipo comprado.
- c Generalmente requeridos en instalaciones "desde las raíces".
- d Contrario a los otros costos directos e indirectos, los costos por estos conceptos no son por lo general una fracción específica del costo del equipo comprado. En lugar de eso, se dimensionan y costean por separado.
- e Normalmente no se requiere con sistemas de control añadidos.

Figura 2.1: Elementos de Inversión de Capital Total

Esto se aplicaría principalmente a sistemas de control instalados en plantas ya existentes, aunque también se puede aplicar a los sistemas que se instalen en plantas nuevas, cuando no se requiera de instalaciones especiales (v.g., instalaciones fuera del sitio), para soportar al sistema de control.

Según se requiera, las instalaciones fuera del sitio incluyen a las unidades para producir vapor, electricidad y agua tratada; edificios de laboratorios; espuelas de ferrocarril y caminos. Sin embargo, es inusual que un sistema de control de la contaminación requiera una de estas unidades

(v.g., una planta de energía), dedicada a dicho sistema, puesto que rara vez las necesidades del sistema son de ese tamaño. Sin embargo, pudiera ser necesario -especialmente en el caso de sistemas de control instalados en plantas nuevas- incluir una capacidad extra en la planta generadora del sitio, para propósitos de control. (Una torre lavadora vénturi, la cual requiere de grandes cantidades de energía eléctrica, es un buen ejemplo de esto). Es costumbre, que el costo de este servicio sea cargado a los costos de operación del proyecto con una tarifa tal que cubra tanto la inversión como los costos de operación y mantenimiento (O y M) del servicio.

Como se muestra en la Figura 2.1, otros dos costos pueden incluirse en la inversión de capital total para un sistema de control: capital de trabajo y terreno. El capital de trabajo es un fondo que se reserva para cubrir los costos iniciales de combustibles, sustancias químicas y otros materiales, así como salarios y mantenimiento. Usualmente no se aplica a los sistemas de control, ya que las cantidades de servicios, materiales y mano de obra que requieren son generalmente bajas. (Una excepción podría serlo un incinerador térmico que consuma combustible, para el cual habría que tener disponible un pequeño suministro (v.g., 30 días), de combustible, durante el período inicial de operación).

También podría ser necesario un terreno. Pero como la mayoría de los sistemas de control añadidos ocupan poco espacio (un octavo de hectárea o menos), este costo sería relativamente bajo. (Ciertos sistemas de control, tales como los utilizados para la desulfurización de gas natural, requieren de terrenos más grandes para el equipo de proceso, almacén de sustancias químicas y disposición de residuos).

Obsérvese también en la Figura 2.1, que el capital de trabajo y el terreno son gastos no depreciables. En otras palabras, estos costos son “recuperados” cuando el sistema de control llega al final de su vida útil (generalmente en 10 o 20 años). Por el contrario, otros costos de capital son depreciables, puesto que no pueden ser recuperados y están incluidos en los cálculos del impuesto sobre la renta (cuando aplique) y de depreciación, siempre que el impuesto sobre la renta se considere en el análisis de costos. (En la metodología del Manual sin embargo, el impuesto sobre la renta no está considerado. Ver la Sección 2.3.)

Cuando el 100% de los costos del sistema son depreciables, al término de la vida útil del equipo de control, éste no tiene ningún valor recuperable. Esta es una suposición razonable para sistemas de control añadidos, al igual que para la mayoría del equipo, los cuales se diseñan para una fuente específica y no pueden utilizarse en otra parte sin modificarse. Aún si fuera reutilizable, el costo de desarmar el sistema (v.g., “costo de decomisionar”), sería tan alto (o mayor), que su valor de recuperación.

2.3.2 Elementos del Costo Total Anual

El *Total Annual Cost - TAC* (costo total anual) de los sistemas de control, se compone de tres elementos: *direct costs - DC* (costos directos), *indirect costs - IC* (costos indirectos), y

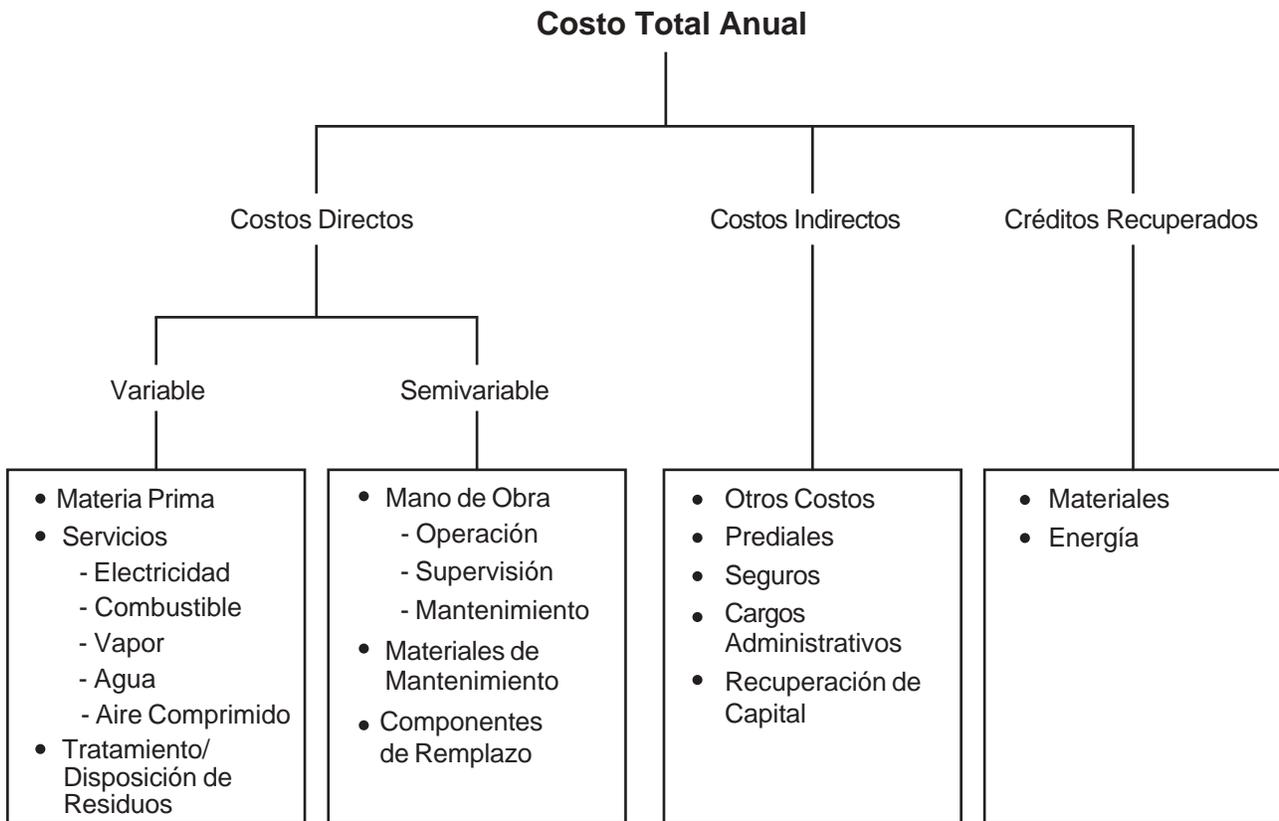


Figura 2.2: Elementos de Inversión de Capital Total

recovery credits - RC (créditos de recuperación), los cuales se relacionan por la siguiente ecuación:

$$TAC = DC + IC - RC \quad (2.1)$$

Claramente, estos costos son en base anual, ya que éste período considera las variaciones estacionales en la producción (y en la generación de emisiones) y es directamente utilizable en el análisis de rentabilidad. (Ver la Sección 2.3.)

Los costos directos son aquellos que tienden a ser proporcionales o parcialmente proporcionales a la cantidad de gas que es procesado por el sistema de control por unidad de tiempo. Estos incluyen los costos de la materia prima; servicios (vapor, electricidad, agua de proceso y de enfriamiento, etc.); tratamiento y disposición de residuos; materiales de mantenimiento; partes de repuesto; y mano de obra de operación, mantenimiento y supervisión. De estos costos directos, los de la materia prima, los servicios y los de tratamiento y disposición de residuos son variables, puesto que tienden a estar en función directa de la proporción de flujo del efluente. Esto

es, cuando la proporción de flujo es la máxima, los costos son los más altos. Por el contrario, cuando la proporción de flujo es cero, también lo son estos costos.

Los costos directos semivariables son solo parcialmente dependientes de la proporción de flujo del gas. Estos incluyen todo tipo de mano de obra, otros costos directos, materiales de mantenimiento y partes de repuesto. Aún cuando estos costos son función de la proporción de flujo del gas, no son funciones lineales. Aún si los sistemas de control no se encontraran operando, se continuaría incurriendo en algunos de estos costos semivariables.

Los costos indirectos, o costos anuales “fijos”, son aquellos cuyos valores son totalmente independientes de la proporción de flujo del gas y, de hecho, se tendrían aún si el sistema de control dejara de operar. Incluyen categorías tales como los gastos de administración, los impuestos prediales, las primas de seguros y la recuperación de capital.

Finalmente, los costos directos e indirectos anuales, se compensan parcialmente por la recuperación de créditos, abonados por los materiales o energía recuperados por el sistema de control y que pueden venderse, reciclarse al proceso, o reutilizarse en algún otro lado en el sitio. Estos créditos, a su vez, deben compensar en parte los costos necesarios para su procesamiento, almacenamiento, transporte y cualquier otra acción requerida para hacer reusable o vendible al material o energía recuperada. Debe ejercerse mucho cuidado y juicio al asignarle valores a los créditos recuperados, ya que los materiales recuperados pueden serlo solo en pequeñas cantidades o de pureza dudosa, resultando de menor valor que el material virgen. Al igual que los costos directos anuales, los créditos recuperados son variables ya que su magnitud es directamente proporcional a la proporción del flujo del gas. En la Figura 2.2 se muestran los diferentes costos anuales y sus relaciones mutuas. En la Sección 2.5. se da una descripción más completa de estos costos y cómo pueden estimarse.

2.4 Conceptos Financieros

Típicamente, los ingenieros acostumbran utilizar un conjunto relativamente pequeño de herramientas financieras para evaluar alternativas de instalaciones y justificar sus selecciones con la alta gerencia. En estos casos, el propósito del ingeniero es mostrar cómo el artículo recomendado mejorará la rentabilidad de la compañía. En gran parte, esta clase de análisis es voluntaria. Agregar una nueva línea de ensamble o cambiar de un tipo de material de los empaques a otro, son decisiones que pueden posponerse o simplemente no realizarse. Este no es el caso con los dispositivos de control de la contaminación, cuando son necesarios para cumplir con las normas de contaminación estatales y federales y que generalmente tienen un plazo fijo para su instalación. Por consiguiente, la decisión para instalar un dispositivo X puede no haberse originado en el ingeniero. En cambio, el proceso realmente puede ser a la inversa en relación con la evaluación del ingeniero, realizada por motivos de rentabilidad: el gerente ambiental de la compañía podría identificar la necesidad de un equipo de control de la contaminación y pasarle entonces esa decisión al ingeniero.

Cuando las regulaciones de la calidad del aire limitan la selección de la fuente a un sólo tipo de control (v.g., cuando la regulación especifica la tecnología a ser utilizada), este Manual cumple dos funciones. Primero, garantiza que se ha tomado un perfil de costos tan completo como sea posible para minimizar el efecto adverso de la compra, instalación y operación de ese equipo. Segundo, la identificación de la tecnología de control apropiada no incluye requisitos específicos del sitio que necesitan ser identificados y costeados. Este Manual proporciona datos de ingeniería para el dimensionamiento apropiado y las especificaciones de diseño del control. Cuando el gerente ambiental puede escoger entre alternativas de tecnologías de control para lograr el mismo nivel de abatimiento de la contaminación, este Manual realiza una tercera función “normalizando” los datos financieros de cada alternativa para que pueda hacerse una selección bien razonada.

Para evaluar completamente el costo de un dispositivo de control de la contaminación, el lector debe entender varios conceptos del análisis financiero. Esta sección del Manual discute cómo el valor del dinero cambia con el tiempo y cómo aplicar ese concepto al costo de los dispositivos de control de la contaminación. Las ediciones anteriores del Manual se enfocaron en la evaluación de información financiera desde una perspectiva de la ingeniería. Sin embargo, la *EPA* ha aprendido que la audiencia que utiliza el Manual es también de otras disciplinas distintas a las de la ingeniería. Por consiguiente, uno de los cambios importantes en esta edición del Manual consiste en ajustar los datos financieros y económicos para alcanzar a esta audiencia más amplia. Siempre que en las ediciones anteriores se hayan incluido nombres específicos de ingeniería para los términos financieros, se conserva el nombre de ingeniería, pero también se ha incluido el término técnico desde una perspectiva financiera.

2.4.1 El Valor del Dinero con el Tiempo

Los costos y beneficios de una inversión ocurrirán durante un cierto periodo de tiempo en lugar de que ocurran solamente en el momento de la compra. Por consiguiente, los análisis financieros y estudios de costo-beneficio deben incluir los efectos a futuro de las decisiones actuales. Si las personas dieran el mismo valor a un dólar a futuro que el que dan a un dólar en el presente, el análisis financiero podría reducirse a la suma de todos los costos e ingresos a futuro derivados de la inversión. Sin embargo, como dice el viejo refrán: “Más vale pájaro en mano que un ciento volando”. No solo podría no cumplirse la promesa de un dólar a futuro, sino que su valor adquisitivo podría declinar. Además, gastar el dólar en el presente ofrece beneficios inmediatos que tendrían que posponerse si ese dólar se guardara para una fecha futura. Por consiguiente, los individuos exigen alguna retribución para compensar estas preocupaciones, aumentando por eso el valor de un pago a futuro, a más de un dólar. Recíprocamente, al aceptar hoy un pago por un dólar ofrecido en alguna fecha a futuro, la persona está dispuesta a recibir menos que un dólar, puesto que puede disfrutarlo inmediatamente sin los riesgos de la inflación o de que no le paguen.

Este proceso de ajuste se llama el principio del valor del dinero con el tiempo. El ampliar un plazo para diferir un pago, tiene un efecto acumulativo. Por ejemplo, si una inversión requiere de un ajuste de diez por ciento por cada año que se tiene que posponer la decisión de recuperarla,

un dólar tendría que convertirse en \$1.10 al final del primer año (\$1.00 multiplicado por 110%) y \$1.21 si el plazo se amplía a dos años (\$1.00 multiplicado por 110% multiplicado por 110%). La fórmula para calcular el valor a futuro de un dólar invertido hoy es la siguiente:

$$FV = \$1 \times (1 + i)^n \quad (2.2)$$

donde *FV* es el *future value (FV)* (valor futuro); El *present value (PV)* (valor actual) del dólar invertido, *i* es la tasa de interés y *n* es el número de plazos (típicamente años), antes de que la inversión madure. Análogamente, entre más al futuro sea la promesa de pago, un individuo estará más dispuesto a aceptar menos por el pago de inmediato. Por ejemplo, si una persona desea que se le pague de inmediato en lugar de esperar un año para recibir un dólar (a la misma tasa del 10% de interés que se utilizó anteriormente), estaría dispuesto a aceptar \$0.92 (\$1 dividido entre 110%). Para el pago de inmediato de un dólar prometido a dos años, podría estar dispuesto a aceptar \$0.83 (\$1 dividido entre [110% multiplicado por 110%]). El *present value* (valor actual) de un dólar a futuro a realizarse en *n* años, puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$PV = \frac{\$1}{(1 + i)^n} \quad (2.3)$$

2.4.2 Tasas de Interés, Precios e Inflación

Los analistas utilizan la tasa de interés para estimar el valor del dinero con el tiempo. Esta puede visualizarse como el retorno de la inversión o como el costo del crédito. Las tasas de descuento son tasas de interés que se utilizan para estimar el valor de los pagos actuales que se anticipan a cuenta de pagos a futuro. Hay tres tipos de interés que son importantes para este Manual: real, nominal, y social. La tasa de interés establecida por las instituciones de crédito es la tasa de interés nominal. Es el costo del préstamo y en el se ha incluido un factor para tomar en cuenta los cambios anticipados en el nivel general de precios (inflación). Retirando de la tasa de interés nominal el ajuste por inflación, se obtiene la tasa de interés real -el costo real del préstamo. Por ejemplo, digamos que un inversionista obtiene de un banco un préstamo de \$100 a 10% por un año. Al final del año, el inversionista debe pagar \$110 dólares. Sin embargo, si durante ese año la tasa de inflación fue de seis por ciento, el banco recibiría \$10 en intereses, pero también perdería \$6 del valor de los \$100 que prestó. Consecuentemente, solo ganaría \$4 de interés real. En forma de ecuación, la tasa de interés nominal (*i*) es igual a la tasa de interés real (*i_r*) más la tasa esperada de inflación (*p^e*):

$$i = i_r + p^e \quad (2.4)$$

La tasa de interés empleada en este Manual difiere de la utilizada en análisis financieros no gubernamentales. Representa una tasa de interés social establecida por la Office of Management and Budget (*OMB*) (Oficina de Administración y Presupuesto), para efectos de comparación en asuntos de políticas públicas. Al igual que las tasas de interés nominal o real, la tasa de interés social toma en cuenta la incertidumbre y los beneficios previstos asociados con gastar un dólar hoy, pero por diferentes razones. En términos sociales, no gastar un dólar hoy significa no preferir las actividades productoras de beneficios que podrían generar un mejoramiento inmediato del bienestar social. Contrario al interés que genera la inversión industrial, el cual varía entre las industrias (y aún entre empresas dentro de una industria), los beneficios sociales que se prevén, asociados con la inversión, permanecen iguales para toda la industria. Además, puesto que un cambio en el nivel general de precios afecta a todos simultáneamente, las tasas de interés social no toman en cuenta la inflación. La *OMB* fija la tasa de interés social en siete por ciento.

Cuando las autoridades estatales, locales, Tribales y otras agencias gubernamentales evalúan los costos del control de la contaminación, el siete por ciento de tasa de interés utilizada en este Manual debería producir estimaciones comparables a aquellas establecidas por la *EPA* al realizar sus propias evaluaciones. Sin embargo, para cumplir con las necesidades de la industria, el Manual incluye explicaciones detalladas de todos los cálculos, de manera que los analistas industriales puedan adaptar la tasa de interés según sus necesidades particulares.

Los precios reales y nominales actúan de la misma manera. Los precios nominales son los precios actuales (v.g., el precio en la etiqueta) y representa el valor de un bien particular en un momento en particular. Los precios reales eliminan el efecto de la inflación. Ajustar los precios nominales a los precios reales implica tomar una *año base* para propósito de comparación y crear entonces un factor de ajuste para los precios de cada año en relación a los del año base. Este factor de ajuste es un *Price Index (PI)* (índice de precio) que puede ser utilizado para ajustar los precios nominales a un valor equivalente en el año base, derivado por medio de la siguiente fórmula:

$$PI = \frac{\text{precio en un año dado}}{\text{precio en el año base}} \quad (2.5)$$

El gobierno federal y la industria desarrollan una variedad de índices, hechos a la medida para el análisis de aspectos específicos de precios. Los más conocidos de estos índices son el *Consumer Price Index - CPI* (Índice de Precios al Consumidor) y el *Producer Price Index - PPI* (Índice de Precios al Productor), los cuales investigan el cambio de precios a través de toda la economía. Sin embargo, estos índices son con frecuencia muy generales para las necesidades específicas de la industria. Para propósitos de control de la contaminación, la *OAQPS* ha desarrollado y mantenido los *Vatavuk Air Pollution Control Cost Indexes - VAPCCI* (Índices Vatavuk de Costos de Control de la Contaminación del Aire), los cuales proporcionan una estimación del cambio en los precios de compra de los dispositivos de control de la contaminación. Los *VAPCCI* pueden encontrarse en Internet, en la página de la *OAQPS* y en la de la *Technology*

Transfer Network - TTN, Red de Transferencia de Tecnología, (www.epa.gov/ttn/catc/products.html#cccinfo). Para ilustrar el uso de un índice de precios, supóngase que un dispositivo de control costó \$100 dólares hace diez años y que ahora cuesta \$130 dólares. El índice de precios para ese dispositivo sería 1.30, de acuerdo a la ecuación 2.4. Supóngase que el índice *VAPCCI* para el mismo período fue de 1.42; entonces, el mismo artículo debió de haber incrementado su costo en 42% en los mismos diez años, para que no hubiera tenido cambio en su valor en relación a otros bienes. Puesto que el dispositivo tuvo un índice de precio más bajo, sería realmente menos caro en términos relativos.

2.4.3 Flujo de Efectivo

Durante toda la vida de una inversión se presentan gastos e ingresos, cuya cantidad y momento en el que se presenten constituyen el flujo de efectivo del proyecto. El costeo de sistemas de control de la contaminación siempre incluye gastos pero puede no necesariamente tener ingresos. Para que un control genere ingresos, debe reducir el costo de producción (a través de menos consumos o reformulación del producto), o debe capturar y recuperar un contaminante con características reciclables (v.g., recuperación de un solvente). Mientras que el flujo de efectivo ocurre durante todo el año, los analistas por lo general suponen que los egresos e ingresos ocurren al final del año en el que se presentan.¹ En la Figura 2.3 se muestra un diagrama de un flujo de efectivo hipotético que ilustra los ingresos y egresos contabilizados al final del año para un dispositivo de control que no tiene valor de recuperación. Los egresos son las barras sólidas que se extienden por debajo de la línea y los ingresos son las barras sólidas por encima de ella. Típico de muchos flujos de efectivo relacionados con equipo, los costos más altos ocurren a tiempo cero, cuando se adquiere y se instala el control. En el primer año de operación, los costos tienden a ser relativamente altos por la operación y mantenimiento de un equipo nuevo, debido a las condiciones de balanceo y ajuste. Después de eso, los costos tienden a bajar y a permanecer más o menos constantes hasta que el equipo se aproxima al final de su vida útil, cuando los costos de operación y mantenimiento tienden a ser altos de nuevo. En el ejemplo hipotético, el control genera algún ingreso, pero no el suficiente como para compensar los costos de operación y mantenimiento durante la vida del equipo. Es posible, sin embargo, que el ingreso genere flujos de efectivo positivos.

2.4.4 Métodos de Análisis Financieros

Cuando existen alternativas de oportunidades de inversión -cuando puede utilizarse más de una estrategia de control de la contaminación- la selección de la alternativa más apropiada depende del efecto de esa alternativa en la rentabilidad de la empresa. Consecuentemente, los análisis financieros han creado un conjunto de herramientas de evaluación que nos ilustran acerca de las consecuencias financieras potenciales asociadas a alguna inversión. Aunque ninguna herramienta sola sirve para todas las instancias, la aplicación de varias de ellas puede proporcionar al gerente de finanzas, suficiente información de cada alternativa de inversión, de manera que pueda tomarse una decisión adecuada. La herramienta más importante en el arsenal del analista,

1 Esta suposición introduce muy poco error.

es el *Net present value (NPV)* (Valor actual neto). Sirve como la base de un número de análisis relacionados, incluyendo los de relación costo/beneficio y *internal rate of return (IRR)* (taza interna de retorno). Según encuestas, la mayoría de los analistas utilizan más de una herramienta y emplean por lo general alguna forma de análisis de valor actual. [8] Los dispositivos de control de la contaminación, por lo general, no generan flujos positivos de efectivo, pero aún en este tipo de inversiones, los contadores de costos ambientales evalúan sus programas a través de análisis de valor actual. [9] En las siguientes secciones se discuten algunas de las herramientas más comunes de análisis financiero.

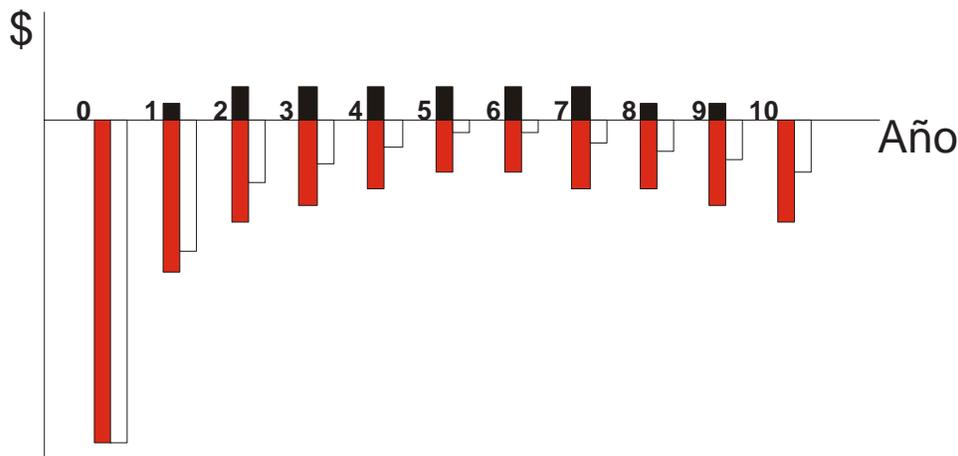


Figura 2.3: Diagrama de Flujo de Efectivo Hipotético

2.4.4.1 *Net present value (NPV)* (Valor Actual Neto)

Para evaluar la efectividad en cuanto a costos de las alternativas de dispositivos de control de la contaminación, el analista debe ser capaz de compararlas de una manera que tenga sentido. Puesto que diferentes controles tienen diferentes expectativas de vida útil y resultarán en diferentes flujos de efectivos, el primer paso al comparar alternativas es normalizar sus rendimientos utilizando el principio del valor del dinero con el tiempo discutido en la sección 2.4.1. El proceso mediante el cual los flujos de efectivo a futuro se traducen a dólares actuales se conoce como análisis del valor actual. Cuando en el flujo de efectivo se presentan ingresos y egresos, también se le conoce comúnmente como análisis del valor actual neto. En cada caso, la estrategia es la misma: ajustar el valor a futuro del dinero a valores actuales, empleando una tasa de interés (descuento) apropiada,

y sumarlos. En general, entre mayor sea la suma, más atractivo es el proyecto. Tal como se discute en la sección 2.4.2, este Manual utiliza la tasa de interés social de descuento que por mandato federal es del 7%.

El desarrollo de un valor actual neto de un flujo de efectivo, implica los siguientes pasos:

- Identificación de alternativas- para nuestros propósitos, una alternativa apropiada sería cualquier dispositivo de control de la contaminación que redujera las emisiones en la fuente a niveles aceptables.
- Determinación de los costos y flujos de efectivo en toda la vida de cada alternativa - cada uno de los capítulos subsecuentes de este Manual ofrece información detallada para costear dispositivos y equipos específicos de control de la contaminación.
- Determinación de una tasa apropiada de interés (descuento) - para las agencias estatales, locales, Tribales y otras organizaciones de gestión ambiental, la tasa de descuento social de siete por ciento de la *EPA*, probablemente sería la más apropiada. Los usuarios industriales de este Manual deberían de obtener la opinión de sus gerentes financieros o de sus cámaras o asociaciones.
- Para cada alternativa: Calcular un factor de descuento para cada año durante la vida útil del equipo - por ejemplo, la tasa de descuento de la *EPA* de 7% produce factores de descuento de: 0.9346, 0.8734, 0.8163, 0.7629, and 0.7130 para el 1^{ro}, 2^{do}, 3^{ro}, 4^{to} y 5^{to} año de la vida de un equipo, respectivamente.
 - Para el flujo de efectivo de cada año, se suman todos los ingresos y gastos para determinar el flujo neto de efectivo para ese año en términos nominales (Ver la sección 2.4.2).
 - Multiplique el flujo neto de efectivo de cada año por el factor de descuento apropiado.
 - Sume los flujos netos de efectivo descontados para derivar el valor actual neto.
 - Compare los valores actuales netos de cada alternativa. Los analistas deben valorar cada una de las inversiones que se están analizando, de acuerdo con su valor actual neto. Los valores actuales netos más altos significan mejores oportunidades de inversión en relación a las otras alternativas de inversión del conjunto entre el que se decide.

El valor actual neto de una corriente de flujos de efectivo durante la vida útil de un paquete de inversión, puede ser calculado por medio de la siguiente fórmula:

$$NPV = \sum_{t=0}^n NCF_t \left(\frac{i}{1 - (1+i)^{-t}} \right) \quad (2.6)$$

donde NPV representa valor actual neto, NCF_t el flujo neto de efectivo para el año t , e i es la tasa de interés.

En la Figura 2.3 se incluye una barra blanca en cada año para representar el valor actual neto del flujo de efectivo (ingresos menos egresos), de la inversión (dispositivo de control), durante ese año. En otras palabras, las barras blancas muestran el valor que el inversionista estaría dispuesto a gastar en tiempo cero para cubrir el flujo neto de efectivo de cada año, en lugar de esperar a cubrirlo al final del período. A tiempo cero, los cálculos del valor actual reflejan el valor total de todos los costos e ingresos, por lo que la barra blanca es de la misma longitud que la barra sólida.

El valor actual neto nos proporciona un valor esperado para el control si todos los egresos e ingresos fueran realizados en forma inmediata, en lugar de distribuirse en el tiempo. Claramente, en el ejemplo de la Figura 2.3, puesto que en ningún año se produce un flujo de efectivo positivo, el valor actual neto del control también debe ser negativo. Si, por otro lado, ocurrieran flujos de efectivo positivos y el valor actual neto del control fuera positivo, el analista podría suponer que el beneficio financiero del control es mayor que su costo y que el control es un buen candidato para ejecutarse.

Debido a que cada control tiene una vida diferente y un patrón de flujo de efectivo diferente, los análisis del valor actual neto proporcionan una medida por medio de la cual pueden compararse las alternativas de control. Sin embargo, los análisis del valor actual neto tienen sus limitaciones. Considérese una empresa hipotética investigando la instalación de dos alternativas de controles de la contaminación del aire. Una alternativa sería la de reconvertir el equipo actual, la cual tendría una vida útil de cinco años sin valor de recuperación. La otra alternativa sería rescatar el equipo actual y reemplazarlo por componentes nuevos de tecnología de punta que contaminen menos. Esta estrategia tendría una vida útil de veinte años. Si el proceso de reconvertir el equipo tiene un valor actual neto más alto, ¿significa que es la mejor opción? No necesariamente, porque dentro de cinco años tendría que comprarse equipo nuevo de cualquier modo. Si la estrategia del equipo nuevo tuviera un valor actual neto más alto, ¿sería ésta una mejor opción? No necesariamente, puesto que la inversión de la empresa estaría corriendo riesgos por un período de tiempo cuatro veces mayor.

Una solución al problema del efecto del tiempo asociado con los análisis del valor actual neto, sería la de extender la alternativa de la reconversión del equipo, agregando quince años de reposición de equipo al final del período de la modificación. Esto permitiría una comparación de más sentido, ya que sería para períodos de tiempo similares y se incluirían los dos gastos del equipo necesario para realizar la opción de la reconversión. Otra solución sería la de aumentar la

información recibida del análisis del valor actual neto, empleando otras herramientas de análisis financiero.

2.4.4.2 Flujo de Efectivo Anual Uniforme Equivalente y Anualización

En lugar de pagar por adelantado todos los costos a futuro de instalación, mantenimiento y operación de un dispositivo de control de la contaminación, ¿que tal si los pagos pudieran ser igualizados a lo largo de la vida del control? Una herramienta común de ingeniería para la evaluación de alternativas de control utiliza este enfoque, llamado el método del *equivalent uniform annual cash flow (EUAC)* (flujo de efectivo anual uniforme equivalente). [10] El *EUAC* trabaja mejor cuando hay solo un valor inicial o final que incorporar y los flujos anuales de efectivo son constantes. Cuando se comparen *EUAC* para diferentes sistemas, el analista debe evitar comparar sistemas con vidas útiles muy diferentes. La comparación de *EUAC* para sistemas con vida útil que difieran en dos o tres años, puede ser razonable, pero después de ese rango las comparaciones se hacen problemáticas. Este Manual no recomienda el uso de *EUAC* por si mismo y solo cuando la vida útil de las alternativas de control son muy similares.

Anualización es un proceso similar al *EUAC* pero no está limitado a flujos constantes de efectivo. Implica determinar el valor actual neto de cada alternativa de inversión de equipo y determinar entonces los pagos iguales (en términos nominales), que tendrían que hacerse al final de cada año para alcanzar el mismo nivel de egresos. En esencia, la anualización implica establecer un “pago” anual suficiente para financiar la inversión durante toda su vida, utilizando la siguiente fórmula:

$$PMT = NPV \left(\frac{i}{1 - (1 + i)^{-n}} \right) \quad (2.7)$$

donde *PMT* es el *equivalent uniform payment* (pago uniforme equivalente) durante la vida del control, *n*, a una tasa de interés, *i*. *NPV* indica el valor actual de la inversión tal como fue definido anteriormente por la ecuación 2.6.

Los textos de ingeniería económica llaman a este pago el *capital recovery cost (CRC)* (costo de recuperación de capital), el cual puede ser calculado multiplicando el *NPV* de la inversión por el *capital recovery factor (CRF)* (factor de recuperación de capital):

$$CRC = NPV \times CRF \quad (2.8)$$

en donde *CRF* se define de acuerdo a la fórmula:

$$CRF = \left(\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right) \quad (2.8a)$$

Tabla 2.2: Parámetros del Establecimiento y Opciones de las Regulaciones

Parámetros del Establecimiento

- Intensivos
 - Condición del establecimiento (nuevo o ya existente, localización)
 - Características del gas (temperatura, presión, control de humedad)
 - Concentración de l(os) contaminante(s) y/o distribución del tamaño de partícula
- Extensivos
 - Capacidad del establecimiento
 - Vida del establecimiento
 - Velocidad del flujo del gas de salida
 - Velocidad de emisión de contaminante(s)

Opciones de las Regulaciones

- No control
 - Dispositivos “añadidos”
 - Límites de emisión
 - Límites de opacidad
 - Modificaciones al proceso
 - Cambios de materia prima
 - Sustitución de combustible
 - Pretratamiento de la alimentación/en la fuente
 - Desulfurización del carbón
 - Supresión húmeda del polvo
-
-

La ecuación de *CRF* es una transformación de la forma del *PMT* de la ecuación 2.7 y arroja la misma información.

2.4.4.3 Reembolso (tiempo de recuperacion del costas inicial)

Reembolso es el tiempo (años) necesario para que una inversión recupere su inversión inicial. Puede utilizarse para proyectos simples o para evaluaciones “sobre las rodillas” con la siguiente regla de dedo: entre más corto sea el período de reembolso, más atractivo es el proyecto. El reembolso se calcula dividiendo el costo de capital total de un proyecto por sus ingresos o ahorros anuales. Mientras que requiere muy poca información y casi nada de tiempo para calcularse,

el reembolso tiene una utilidad limitada como herramienta de evaluación, puesto que no toma en cuenta los flujos de efectivo ni el valor del dinero con el tiempo.

2.4.4.4 Otras Herramientas de Análisis Financiero

La mayoría de las firmas hacen las decisiones de inversión en base al rendimiento de la inversión, y no a la magnitud de su valor actual neto. El *return on investment (ROI)* (rendimiento de la inversión) es análogo a una tasa de interés y representa la cantidad de valor adicional -arriba de los costos iniciales de la inversión- que generará una inversión. Claramente, para la mayoría de las inversiones para el control de la contaminación, el análisis de *ROI* no ayuda demasiado en términos de información útil. Se calcula dividiendo el ingreso anual neto (ingreso bruto menos cualquier depreciación), entre el costo de capital de la inversión, resultando en un porcentaje de la inversión que es recuperado cada año. La regla de decisión que debe aplicarse para el análisis de *ROI*, es que si el porcentaje resultante es al menos tan alto como alguna tasa mínima de rendimiento establecida, entonces la inversión podría valer la pena. Sin embargo, diferentes industrias requieren diferentes tasas de rendimiento de su inversión y, aún dentro de una misma industria pueden encontrarse diferentes tasas. Los analistas deben consultar con sus gerentes de finanzas o con alguna cámara o asociación de industriales, para determinar que porcentaje podrían aplicar.

La *IRR* (tasa interna de rendimiento), es similar al análisis del valor actual en que involucra descontar una serie de flujos de efectivo desiguales. Sin embargo, la tasa de interés, i , se fija de antemano con el método del *NPV*. A medida que disminuye la tasa de interés, también lo hace el valor actual neto de los flujos de efectivo a futuro que se estén analizando. En algún momento, la tasa de interés bajará tanto que el valor actual neto será negativo. La *IRR* es la solución para las tasas de interés que, si se aplicaran al análisis del *NPV*, resultarían en un valor actual neto de cero. Cuando se comparan alternativas de sistemas, uno podría seleccionar la alternativa con la *IRR* más alta. Hace veinte años, las discusiones acerca de la *IRR* desalentaron su uso, debido a que no hay un método directo para calcularla. En ese entonces, la determinación de la *IRR* era un proceso iterativo que podía consumir muchas horas de trabajo. Actualmente, siendo las computadoras una herramienta fundamental para la mayoría de las tareas, la determinación de la *IRR* no ha cambiado, pero es fácil de utilizar y la velocidad en su cálculo se ha incrementado dramáticamente.

2.5 Procedimiento de Estimación

El procedimiento de estimación empleado en el Manual tiene cinco pasos: (1) obtener los parámetros del establecimiento y las opciones de las regulaciones para un establecimiento dado; (2) bosquejar el diseño del sistema de control; (3) dimensionar los componentes del sistema de control; (4) estimar los costos de estos componentes individuales; y (5) estimar los costos (de capital y anual) para todo el sistema.

Tabla 2.3: Ejemplos de Parámetros Típicos de Dispositivos de Control [11]

General

- Material de construcción: acero al carbón
- ¿Con aislamiento? Sí
- Vida económica: 20 años
- Redundancia^a: ninguna

Específicos del Dispositivo

- Relación Gas-Tela (“parámetro crítico”): 3.0 a 1
 - Caída de presión: 6.0 en pulgadas de columna de agua
 - Construcción: estándar (vs. de diseño)
 - Tipo de operación: continua (vs. intermitente)
 - Tipo de filtro: sacudido
 - Material de la bolsa: poliéster, 16-oz.
-
-

^a Se refiere a si existen o no cualquier equipo extra instalado (v.g., ventiladores), para funcionar en caso de que los elementos básicos se vuelvan inoperantes, para evitar parar todo el sistema.

2.5.1 Parámetros del Establecimiento y Opciones de las Regulaciones

La obtención de los parámetros del establecimiento y de las opciones de las regulaciones, implica no solo enlistar los parámetros de la fuente de contaminación del aire (v.g., cantidad, temperatura y composición de la(s) corriente(s) de emisión), sino también compilar los datos para la operación del establecimiento. (En la Tabla 2.2 enumera ejemplos de estos.) Obsérvese que se han identificado las dos clases de parámetros del establecimiento -intensivos y extensivos. Los primeros son simplemente aquellas variables independientes de la cantidad o de las dimensiones -v.g., el tamaño del sistema. Por el contrario, los parámetros extensivos abarcan a todas las variables dependientes del tamaño, tal como la velocidad de flujo volumétrico del gas.

Al igual que los parámetros del establecimiento, las opciones de las regulaciones son por lo general especificadas por otros. Estas opciones son maneras de lograr un límite y un rango predeterminados de emisión, partiendo desde no control hasta el control máximo técnicamente alcanzable. La opción que resulte dependerá de si la fuente de emisión es una chimenea (fuente fija), una fuga del proceso (emisión fugitiva) o un área no confinada o parcialmente confinada, tal como una pila de almacenamiento (fuente de área, fugitiva). Las chimeneas se controlan normalmente por dispositivos “añadidos”. Tal como se discutió anteriormente, este Manual tratará primordialmente

de dispositivos “añadidos”. (Sin embargo, en ciertos casos, algunos dispositivos pueden utilizarse para controlar emisiones fugitivas de los procesos, tal como un filtro de tela utilizado en conjunto con un sistema de extracción del edificio). Los añadidos son normalmente empleados para cumplir con niveles especificados de emisiones, aunque en el caso de emisiones de particulados, también se requieran para cumplir con niveles de opacidad.

2.5.2 Diseño del Sistema de Control

Bosquejar el diseño del sistema de control implica primero decidir que clase de sistema se va a costear (una decisión que depende del contaminante a controlar, de las condiciones de la corriente del gas de salida y de otros factores) y que equipo auxiliar será necesario. Al especificar el equipo auxiliar, debe darse respuesta a varias preguntas:

- ¿Que tipo de campana (si acaso) será necesario para capturar las emisiones de la fuente?
- ¿Se necesitará un ventilador para transportar el gas a través del sistema?
- ¿Se necesita un ciclón o algún otro prelimpiador para acondicionar el gas antes de que entre al dispositivo de control?
- ¿Se reciclará, o se dispondrá del contaminante capturado? ¿Como se realizará esto?
- ¿Tendrá la unidad local de servicios (v.g., electricidad), la capacidad para soportar la carga adicional que requiera el sistema de control?

Los tipos de equipo auxiliar que se seleccionen dependerán de las respuestas a estas y a otras preguntas que son específicas del sitio. Sin embargo, sin importar la fuente a controlar, cada sistema podrá contener, además del dispositivo de control mismo, los siguientes equipos auxiliares:

- Campana, u otro medio para capturar la emisión;
- Conductos, para transportar el gas desde la fuente hasta, a través, y desde el sistema de control;
- Sistema del ventilador, (ventilador, motor, arrancador, compuertas de entrada/salida, etc.), para mover el gas a través del sistema;
- Chimenea, para dispersar el gas limpio en la atmósfera..

2.5.3 Dimensionamiento del Sistema de Control

Una vez que los componentes del sistema han sido seleccionados, deben ser dimensionados. El dimensionamiento es quizás el paso más crítico, debido a que la suposición hecha en este paso influirá de una mayor manera que cualquier otra en la inversión de capital. Antes de discutir como dimensionar el equipo, necesitamos definir el término parámetro. (En la Tabla 2.3 se enlistan ejemplos de estos parámetros. Para una descripción completa del procedimiento de dimensionamiento de precipitadores electrostáticos, véase el Capítulo 6.)

También enlistados en la Tabla 2.3 están los parámetros generales que también deben especificarse antes de que el costo de compra del equipo del sistema pueda ser estimado. Obsérvese que, al contrario de los parámetros del dispositivo de control, éstos pueden aplicarse a cualquier clase de sistema de control. Estos parámetros incluyen los materiales de construcción (los cuales pueden ir desde acero al carbón y varios tipos de aceros inoxidable, hasta plásticos reforzados con fibra de vidrio), presencia o ausencia de aislantes y la vida útil o económica del sistema. Tal como se indica en la Sección 2.3.2, se requiere de este último parámetro para estimar los costos anuales de recuperación de capital. La vida útil no solo varía según el tipo de sistema de control, sino también con la severidad del ambiente en el que será instalado. (En las secciones del Manual en las que se discuten dispositivos específicos de control, se presentarán valores representativos de vida útil de los sistemas y otros parámetros de los dispositivos de control).

2.5.4 Estimación de la Inversión de Capital Total

2.5.4.1 Consideraciones Generales

El cuarto paso es la estimación del costo del equipo comprado del equipo del sistema de control. Estos costos están disponibles en este Manual para los dispositivos añadidos y equipo auxiliar más comúnmente utilizados. Cada tipo de equipo ha sido cubierto en un capítulo por separado. (Ver la Tabla de Contenido)

A su vez, la mayoría de estos costos han sido basados en datos obtenidos de los proveedores de equipo de control. Estas empresas son numerosas, muchas de las cuales fabrican y erigen una variedad de sistemas de control.[12] Tienen listas actualizadas de los precios de sus equipos, generalmente indexadas por nombre del modelo. Si los artículos para los cuales se solicita precio son equipos estándares ya fabricados, el proveedor puede dar una cotización por escrito, enlistando sus costos, nombre de los modelos, fecha de la cotización, fecha estimada de embarque y otra información. Más aún, las cotizaciones son por lo general “*F.O.B.*” (*free-on-board* o libre a bordo) proveedor, lo que significa que no se han incluido impuestos, fletes ni otros cargos. Sin embargo, si los artículos no son estándares ya fabricados, deben fabricarse a las especificaciones del cliente o, en caso de que sean de gran tamaño, deben construirse en el sitio. En tales casos, el

proveedor puede aún dar cotizaciones -pero seguramente le tomará más tiempo hacerlo y puede inclusive hacer cargos por este servicio, para cubrir la mano de obra y otros gastos de su departamento de cotizaciones.

Tal como se discute en la Sección 2.2 en este Manual, la inversión de capital total se calcula utilizando factores a partir del costo del equipo comprado, el cual a su vez es la suma del costo del equipo base (dispositivo de control más auxiliares), fletes, instrumentación e impuestos sobre venta. Los valores de estos factores de instalación dependen del tipo de sistema de control instalado y están, por lo tanto, enlistados en los capítulos individuales de este Manual en los que se tratan.

Los costos de fletes, instrumentación e impuestos sobre ventas (I.S. Ventas), se calculan en forma diferente a los costos directos e indirectos de instalación. Estos conceptos se calculan con factores también, pero a partir del costo del equipo base (F.O.B. proveedor). Pero, contrario a los factores de instalación, estos factores son esencialmente iguales para todos los sistemas de control. Los valores para estos son los siguientes:

Tabla 2.4: Los Costos de Fletes, Instrumentación e Impuestos Sobre Ventas

Costo	% del Total de Equipo Costo, F.O.B.	
	Rango	Típico
Flete	0.01 – 0.10	0.05
I.S.Ventas	0 – 0.08	0.03
Instrumentación	0.05 – 0.30	0.10

El rango en los costos de los fletes refleja la distancia entre el proveedor y el sitio. La parte más baja es típica de las áreas metropolitanas de los EE.UU., mientras que la parte alta refleja costos de fletes a lugares tan remotos como Alaska y Hawaii.[11] Los factores de impuestos locales y estatales reflejan el rango de las tasas de impuestos locales y estatales actualmente en vigor en los EE.UU.[13]

El rango de los factores de instrumentación es también muy grande. Para sistemas que requieren controles manuales o continuos simples, se aplicaría el factor más bajo. Sin embargo, si el control es intermitente y/o requiere instrumentación de respaldo por seguridad, se aplicaría la parte más alta del rango.[11] Finalmente, algunos “paquetes” de sistemas de control (v.g., los incineradores tratados en la Sección 4.2.2), vienen con sus controles construidos, cuyo costo está incluido en el costo del equipo base. En esos casos, el factor de instrumentación sería, por supuesto, cero.

2.5.4.2 Consideraciones Acerca de los Costos de Reconversión

Los factores de instalación listados en algún lugar del Manual, son aplicables primordialmente a sistemas instalados en establecimientos nuevos. Estos factores deben ajustarse siempre que el sistema de control sea dimensionado para, e instalado en (v.g., “reconvertido”), un establecimiento ya existente. Sin embargo, debido a que el tamaño y número de los equipos auxiliares son generalmente los mismos en una situación de reconversión, el costo del equipo comprado del sistema de control, probablemente no sería diferente del costo del equipo para una planta nueva. El costo de la instalación de los conductos sería una excepción, ya que en muchas situaciones de reconversión, se requieren conductos excepcionalmente largos para conectar el sistema de control al proceso ya existente.

Cada reconversión es única; por lo que no se puede desarrollar un factor general.² De cualquier modo, se puede dar alguna información general en relación a los tipos de modificaciones de sistemas que pudieran esperarse en una reconversión:

1. Auxiliares. De nuevo, el componente más importante a considerar es el costo de la instalación de los conductos. Además de que se requieren varios conductos muy largos, algunas reconversiones requieren codos, té, compuertas y otras conexiones adicionales.
2. Manejo y Colocación. En situaciones en las que el espacio es muy limitado, debe tenerse especial cuidado al descargar, transportar y colocar el equipo. Este costo se incrementaría considerablemente si fueran necesarios algunos medios especiales (v.g., helicópteros), para colocar el equipo en los techos o en otros lugares inaccesibles.
3. Tubería, Aislantes y Pintura. Al igual que con los conductos, pueden necesitarse tramos largos de tubos para conectar el dispositivo de control con las fuentes del proceso y con agua de enfriamiento, vapor, etc. Por supuesto, entre más tubería y conductos se requieran, más aislante y pintura serán necesarios.
4. Preparación del sitio. Contrario a las otras categorías, este costo puede realmente disminuir, ya que la mayor parte del trabajo ya estaría realizado cuando el establecimiento original fue construido.
5. Establecimientos fuera del sitio. Se concibe que los costos de reconversión para ésta categoría serían los más grandes. Por ejemplo, si el sistema de control requiere de grandes cantidades de energía eléctrica (v.g., una torre lavadora vénturi), la planta de energía de la fuente, podría no estar en condiciones de surtirla. En tal caso, la fuente tendría que comprar energía adicional de algún servicio público, expandir su planta de energía o construir otra. En cualquier caso, el costo del suministro de electricidad al sistema de control podría ser

2 Se han desarrollado factores de modificación para aplicaciones específicas (controles de calderas a carbón). Véase las referencias [14] y [15].

mayor que si el sistema se instalara en una fuente nueva, para la cual se habría planeado un suministro adecuado para sus necesidades de electricidad.

6. Ingeniería. Diseñar un sistema de control para que se acople a una planta ya existente requiere ingeniería extra, especialmente cuando el sistema es excepcionalmente grande, pesado o consumidor de servicios. Por las mismas razones, pudiera necesitarse supervisión extra cuando se realice la instalación.
7. Pérdidas en Producción. Se incurre en estos costos siempre que se reconvierte un sistema de control que no puede ser conectado al proceso durante los períodos normales de mantenimiento ya programados. Entonces, parte o todo el proceso debe pararse temporalmente. Los ingresos netos (v.g., ingresos brutos menos los costos directos al generarlos), que se pierden durante el período de paro es un gasto de reconversión.
8. Imprevistos. Debido a la naturaleza incierta de las estimaciones de reconversión, el factor de imprevistos (v.g., incertidumbre), debiera incrementarse. De los puntos anteriores, es aparente que algunos o la mayoría de los costos de instalación se incrementarían en una situación de reconversión. Sin embargo, puede haber otros casos en los que los costos de instalación para una reconversión sean menores que el costo de instalación del sistema en una planta nueva. Esto sucedería cuando uno de los dispositivos de control, digamos un precipitador electrostático (PES), es repuesto por una unidad más eficiente -una casa de bolsas, por ejemplo. Los conductos, la chimenea y otros auxiliares del PES podrían ser adecuados para el nuevo sistema, al igual que lo serían las unidades de servicios (planta de energía, etc.).

2.5.5 Estimación de los Costos Anuales

La determinación de los costos totales anuales (CTA) es el último paso del procedimiento de estimación. Tal y como se menciona en la Sección 2.3, el CTA se constituye con tres componentes —costos directos e indirectos anuales y créditos recuperados. Contrario a los costos de instalación, los cuales son calculados con factores a partir del costo de equipo comprado, los conceptos de costo anual son computados por lo general, a partir de datos conocidos de tamaño del sistema y modo de operación, así como de los parámetros del establecimiento y del dispositivo de control.

Seguidamente, se presenta una discusión más detallada de los conceptos que componen el costo total anual (En los capítulos de cada dispositivo de control, se incluyen valores/ factores para estos costos).

2.5.5.1 Materia Prima

Generalmente, con los sistemas de control no se requiere de materia prima. Serían la excepción las sustancias químicas utilizadas en las torres lavadoras vénturi o absorbedoras de gas o para neutralizar extracciones ácidas (v.g. ácido clorhídrico), o amoníaco o urea para el control de NO_x durante la combustión. Las sustancias químicas pudieran también requerirse para tratar las aguas residuales descargadas de las torres lavadoras o absorbedoras, antes de desecharlas a cuerpos de agua superficial. Pero, solamente se consideran estos costos, cuando el sistema de tratamiento de aguas residuales está exclusivamente dedicado al sistema de control. En la mayoría de los casos, se aplica un cargo prorrateado por tratamiento de residuos (Ver también la discusión más abajo acerca de Tratamiento y Disposición de Residuos).

Las cantidades de sustancias químicas requeridas se calculan por medio de balances, con un margen extra de 10 a 20% por pérdidas misceláneas. Los costos de las sustancias químicas están disponibles en el *Chemical Marketing Reporter* y en publicaciones similares.

2.5.5.2 Mano de Obra de Operación

La cantidad de mano de obra que requiere un sistema, depende de su tamaño, complejidad y modo de operación (v.g., por lotes o continuo). El costo de mano de obra se calcula generalmente en base a horas por turno. Como regla sin embargo, es difícil obtener datos que muestren correlaciones explícitas entre las necesidades de mano de obra y la capacidad. Una correlación que se encuentra en la literatura es logarítmica:[16]

$$\frac{L_2}{L_1} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^y \quad (2.9)$$

donde:

$$\begin{aligned} L_1, L_2 &= \text{mano de obra requerida para los sistemas 1 y 2} \\ V_1, V_2 &= \text{capacidades de los sistemas 1 y 2 (medidas por el flujo volumétrico del gas,} \\ &\quad \text{porejemplo)} \\ y &= 0.2 \text{ a } 0.25 \text{ (típicamente)} \end{aligned}$$

El exponente en la Ecuación 2.9 puede variar considerablemente, sin embargo. Por el contrario, en muchos casos la cantidad de mano de obra de operación para un sistema será aproximadamente la misma independientemente de su tamaño.

Debe agregarse una cierta cantidad al costo de mano de obra de operación para cubrir las necesidades de supervisión. Un quince por ciento de las necesidades de mano de obra de operación sería representativo.[17]

Para obtener el costo anual de mano de obra, se multiplican las necesidades de mano de obra de operación y de supervisión (mano de obra-hr/operación-hr), por sus respectivos salarios (\$/mano de obra-hr) y el factor de operación del sistema (número de horas por año que el sistema está en operación). Los salarios también varían considerablemente, dependiendo de la categoría de la fuente, localización geográfica, etc. Estos datos se tabulan y se actualizan periódicamente por el *U.S. Department of Labor, Bureau of Labor Statistics*, la Oficina de Estadísticas del Trabajo del Departamento del Trabajo de los EE.UU. en su *Monthly Labor Review* y otras publicaciones. Finalmente, obsérvese que éstos son salarios bases, que no incluyen nómina ni otros costos (Véase la discusión acerca de Otros Costos más abajo.)

2.5.5.3 Mantenimiento

Los costos de mano de obra por mantenimiento se calculan de la misma manera que los de operación y tienen influencia de las mismas variables. Los salarios de la mano de obra por mantenimiento son normalmente mayores que los de operación, debido principalmente a que se requiere personal mejor capacitado. Un bono de 10% en el salario es típico.[17]

Además, se tienen gastos por materiales de mantenimiento —aceite, otros lubricantes, cintas para conductos, etc. y una serie de herramientas pequeñas. Los costos de estos artículos pueden calcularse individualmente, pero puesto que son normalmente muy pequeños, por lo general se calculan con factores a partir del costo de la mano de obra por mantenimiento. La referencia [16] sugiere un factor de 100% del costo de mano de obra de mantenimiento para cubrir los costos de materiales de mantenimiento.

2.5.5.4 Servicios

Esta categoría de costo incluye muchos conceptos diferentes, que van desde electricidad hasta aire comprimido. De estos, solo la electricidad es común a todos los dispositivos de control, mientras que el gas natural y los combustibles líquidos se utilizan solamente en incineradores; el agua y el tratamiento de agua residual, en las torres lavadoras vénturi, enfriadores y cámaras de aspersión; el vapor, por los adsorbedores de carbón; y aire comprimido, por los filtros de tela con pulsos de chorro de aire.

Las técnicas y los factores para estimar el costo de los servicios se presentan en sus respectivas secciones. Sin embargo, debido a que casi cada sistema requiere de un ventilador para transportar los gases de la extracción desde y a través del mismo, aquí se presenta una expresión general para calcular el costo de la electricidad del ventilador (C_e):[11]

$$C_e = \frac{0.746 Q \Delta P s \theta p_e}{6356 \eta} \quad (2.10)$$

donde

- Q = velocidad de flujo del gas (piés³/min reales)
- ΔP = caída de presión a través del sistema (columna en pulgadas de agua) (Valores para ΔP están dados en los capítulos que tratan cada equipo)
- s = gravedad específica del gas relativa al aire (1.000, para todos los propósitos prácticos)
- θ = factor de operación (hr/año)
- η = eficiencia combinada del motor y del ventilador (usualmente 0.60 a 0.70)
- p_e = costo de la electricidad (\$/kwhr)

Puede desarrollarse una expresión similar para calcular los requerimientos de electricidad del motor de la bomba.

2.5.5.5 Tratamiento y Disposición de Residuos

Aunque con frecuencia no se consideran, pueden tenerse costos importantes asociados con el tratamiento y/o disposición de residuos capturados por el sistema de control que no puedan ser vendidos ni reciclados en el proceso.

Las corrientes de residuos líquidos, tales como la descarga de un absorbedor de gas, son procesadas generalmente antes de que sean descargadas a aguas superficiales. El tipo y grado de este tratamiento, dependerá, por supuesto, de las características del efluente. Por ejemplo, el residuo puede ser enviado primero a uno o más clarificadores para coagulación y remoción de los sólidos suspendidos. El precipitado del clarificador es entonces transportado a un filtro rotatorio, en el que se le remueve la mayor parte del líquido. La pasta resultante es entonces enviada a confinamiento, por ejemplo.

El costo anual de este tratamiento puede ser relativamente alto—\$1.00 a \$2.00/mil galones tratados o más.[18] Los costos de disposición de residuos sólidos (no peligrosos), (en un relleno sanitario, por ejemplo), agregarían típicamente otros \$20 a \$30/ton confinada.[14] Esto sin embargo, no incluiría el transporte hasta el sitio de disposición. La disposición de residuos peligrosos (los cuales podrían no ser depositados en un relleno sanitario), puede ser mucho más costosa—\$200 a \$300/ton o más. En las referencias [18] y [19] se encuentra más información acerca de estas tecnologías y sus costos.

2.5.5.6 Partes de Repuesto

Este costo se calcula separado de los de mantenimiento, porque es un gasto muy grande, en el que se incurre una o más veces durante la vida útil del sistema de control. Esta categoría incluye artículos tales como carbón (para los adsorbedores de carbón), bolsas (casas de bolsas) y catalizadores (para los incineradores catalíticos), junto con la mano de obra para su instalación

El costo anual de los materiales de repuesto es una función del costo inicial de las partes, la mano de obra para reemplazar las partes, la vida útil de las partes y la tasa de interés, como sigue:

$$CRC = (C_p + C_{pl}) CRF_p \quad (2.11)$$

donde

- CRC_p = costo de recuperación del capital de las partes de repuesto (\$/año)
- C_p = costo inicial de las partes de repuesto, incluyendo impuestos sobre ventas y fletes (\$)
- C_{pl} = costo de la mano de obra de reemplazar las partes (\$)
- CRF_p = factor de recuperación de capital para las partes de repuesto (definido en la Sección 1.2.3).

En la metodología del Manual, las partes de repuesto se tratan igual que cualquier otra inversión, en que son consideradas también como un gasto que debe ser amortizado durante cierto período de tiempo. También, la vida útil de las partes (típicamente 2 a 5 años) es generalmente menor que la vida útil del resto del sistema de control

La mano de obra para la reposición de partes variará, dependiendo de la cantidad de material, la facilidad con que se maneje, la accesibilidad del dispositivo de control y otros factores

2.5.5.7 Otros Costos

Estos costos son fáciles de calcular, pero con frecuencia son difíciles de comprender. Buena parte de la confusión que rodea a los otros costos se debe a las muchas formas diferentes de calcularlos y a los diferentes costos que incluyen, algunos de los cuales aparentan estar por duplicado.

Generalmente, hay dos categorías de otros costos: de planta y de nómina. Los otros costos de nómina incluyen los gastos asociados con la mano de obra de operación, supervisión y mantenimiento, tales como: compensaciones por incapacidad, seguro social y fondo de pensiones, vacaciones, seguros de grupo y otros incentivos. Algunos de estos son costos fijos (v.g., deben pagarse independientemente del número de horas que un empleado trabaja al año). Los otros costos de nómina se calculan tradicionalmente como un porcentaje del costo total anual (de operación, supervisión y mantenimiento).

Por el contrario, en los otros costos de planta (o de “fábrica”), se toman en cuenta los gastos no necesariamente ligados a la operación y mantenimiento del sistema de control, incluyendo: vigilancia, laboratorios de control, amenidades para los empleados, iluminación de la planta, estacionamientos y jardinería. Algunos estiman estos costos tomando un porcentaje del costo de

toda la mano de obra más los materiales de mantenimiento [17], mientras que otros lo hacen con factores a partir del costo total de mano de obra solamente.[7]

Para las estimaciones de estudio, es suficientemente exacto combinar los otros costos de nómina y de planta en un solo costo indirecto. Esto es lo que se hace en este Manual. También, los otros costos se calculan por factores a partir de la suma de los costos de toda la mano de obra (operación, supervisión y mantenimiento), más los materiales de mantenimiento; este es el enfoque recomendado en la referencia [16]. Los factores ahí recomendados van de 50 a 70%. [16] En este Manual se utiliza un valor promedio de 60%.

2.5.5.8 Prediales, Seguros y Cargos de Administración

Los factores para estos tres costos indirectos de operación se establecen a partir de la inversión de capital total del sistema y, típicamente son del orden del 1,1 y 2% del mismo, respectivamente. Los prediales y primas de seguros, se explican por si solos. Los cargos de administración cubren ventas, investigación y desarrollo, contabilidad y otros gastos de oficina. (Sin embargo, no deben confundirse con los otros costos indirectos de planta). Por simplicidad, estos tres conceptos usualmente se combinan en un solo factor del 4%. Este valor, incidentalmente, es estándar en todos los análisis de costos de la *OAQPS*.

2.5.5.9 Recuperación de Capital

Tal como se discute en la Sección 2.4, el método de anualizado utilizado en este Manual es el método del costo anual uniforme equivalente. Se recuerda que el meollo de este método es el factor de recuperación de capital, el cual, cuando se multiplica por la inversión total de capital, se obtiene el costo de recuperación de capital. (Véase la Ecuación 2.11.)

Sin embargo, siempre que haya partes en el sistema de control que deban ser reemplazadas antes del término de su vida útil, la Ecuación 2.11 debe ser ajustada, para evitar doble cargo.

Esto es:

$$CRC_s = CRF_s \left[TCI - (C_p + C_{pl}) \right] \quad (2.12)$$

donde

- CRC_s = costo de recuperación de capital para el sistema de control (\$/año)
- TCI = inversión total de capital para todo el sistema (\$)
- CRF_s = factor de recuperación de capital para el sistema de control.

El término $(C_p + C_{pl})$ toma en cuenta el costo de esas partes (incluyendo impuestos sobre ventas y fletes), que podrían reemplazarse durante la vida útil del sistema de control y el costo de la mano de obra para reemplazarlas. Claramente, CRF_s y CRF_p no serán iguales a menos que las vidas del sistema de control y de las partes sean iguales.

Referencias

- [1] *Escalation Indexes for Air Pollution Control Devices, Office of Air Quality Planning and Standards, October 1995 (EPA 452/R-95-006).*
- [2] *OAQPS Control Cost Manual (Fifth Edition), EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, Emissions Standards Division, February 1996 (EPA 453/3-96-001).*
- [3] *DeWolf, Glenn, et al. (Radian, Inc.), The Cost Digest: Cost Summaries of Selected Environmental Control Technologies, EPA, ORD, Office of Environmental Engineering and Technology, October 1984 (EPA-600/884-010).*
- [4] *Uhl, Vincent W., A Standard Procedure for Cost Analysis of Pollution Control Operations, Volumes I and II, EPA, ORD, Industrial Environmental Research Laboratory, June 1979 (EPA-600/8-79-018a).*
- [5] *Handbook: Control Technologies for Hazardous Air Pollutants, EPA, Office of Research and Development, Air and Energy Engineering Research Laboratory, June 1991 (EPA-625/6-91-014).*
- [6] *Perry, Robert H., and Chilton, Cecil H., Perry's Chemical Engineers' Handbook (Fifth Edition), McGraw-Hill, New York, NY 1973, pp. 25-12 to 25-16.*
- [7] *Humphries, K. K. and Katell, S., Basic Cost Engineering, Marcel Dekker, New York, NY 1981, pp. 17-33.*
- [8] *c.f., R.S. Kaplan and A.A. Atkinson, Advanced Management Accounting, 2nd ed., Engelwood Cliffs, NAJAFI: Prentice Hall, 1989.*
- [9] *U.S.Environmental Protection Agency, Environmental Cost Accounting for Capital Budgeting: A Benchmark Survey of Management Accounting, #EPA742-R-95-005. Washington D.C., U.S. EPA Office of Pollution Prevention and Toxics, 1995.*
- [10] *Grant, E.L., Ireson, W.G., and Leavenworth, R.S., Principles of Engineering Economy, Sixth Edition, John Wiley & Sons, New York, NY 1976.*
- [11] *Vatavuk, W.M. and Neveril, R.B., "Estimating Costs of Air-Pollution Control Systems—Part I: Parameters for Sizing Systems," Chemical Engineering, October 6, 1980, pp. 165-168.*

- [12] *Pollution Equipment News 1996 Buyer's Guide*, Rimbach Publishing, Pittsburgh, PA 1996.
- [13] *Internal Revenue Service, Form 1040*, 1985.
- [14] *Shattuck, D.M., et al., Retrofit FGD Cost-Estimating Guidelines*. Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA (CS-3696, Research Project 1610-1), October 1984.
- [15] *Kaplan, N., et al., "Retrofit Costs of SO₂ and NO_x Control at 200 U.S. Coal-Fired Power Plants," Pittsburgh Coal Conference*, 1990.
- [16] *Peters, M.S. and Timmerhaus, K.D., Plant Design and Economics for Chemical Engineers (Third Edition)*, McGraw-Hill, New York, NY 1980.
- [17] *Vatavuk, W.M. and Neveril, R.B., "Estimating Costs of Air Pollution Control Systems—Part II: Factors for Estimating Capital and Operating Costs," Chemical Engineering*, November 3, 1980, pp. 157-162.
- [18] *Vatavuk, W.M. and Neveril, R.B., "Estimating Costs of Air-Pollution Control Systems—Part XVII: Particle Emissions Control," Chemical Engineering*, April 2, 1984, pp. 97-99.
- [19] *The RCRA Risk-Cost Analysis Model*, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste, January 13, 1984.

TECHNICAL REPORT DATA

(Please read Instructions on reverse before completing)

1. REPORT NO. 452/B-02-002	2.	3. RECIPIENT'S ACCESSION NO.
4. TITLE AND SUBTITLE Manual de Costos de Control de Contaminacion del Aire de la EPA	5. REPORT DATE July, 2002	
	6. PERFORMING ORGANIZATION CODE	
7. AUTHOR(S) Daniel Charles Mussatti	8. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO.	
9. PERFORMING ORGANIZATION NAME AND ADDRESS U.S. Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards Air Quality Standards and Strategies Division Innovative Strategies and Economics Group Research Triangle Park, NC 27711	10. PROGRAM ELEMENT NO.	
	11. CONTRACT/GRANT NO.	
12. SPONSORING AGENCY NAME AND ADDRESS Director Office of Air Quality Planning and Standards Office of Air and Radiation U.S. Environmental Protection Agency Research Triangle Park, NC 27711	13. TYPE OF REPORT AND PERIOD COVERED Final	
	14. SPONSORING AGENCY CODE EPA/200/04	
15. SUPPLEMENTARY NOTES Updates and revises EPA 453/b-96-001, OAQPS Control Cost Manual, fifth edition (in English only)		
16. ABSTRACT In Spanish, this document provides a detailed methodology for the proper sizing and costing of numerous air pollution control devices for planning and permitting purposes. Includes costing for volatile organic compounds (VOCs); particulate matter (PM); oxides of nitrogen (NOx); SO₂, SO₃, and other acid gases; and hazardous air pollutants (HAPs).		
17. KEY WORDS AND DOCUMENT ANALYSIS		
a. DESCRIPTORS	b. IDENTIFIERS/OPEN ENDED TERMS	c. COSATI Field/Group
Economics Cost Engineering cost Sizing Estimation Design	Air Pollution control Incinerators Absorbers Adsorbers Filters Condensers Electrostatic Precipitators Scrubbers	
18. DISTRIBUTION STATEMENT Release Unlimited	19. SECURITY CLASS (<i>Report</i>) Unclassified	21. NO. OF PAGES 1,400
	20. SECURITY CLASS (<i>Page</i>) Unclassified	22. PRICE